解説記事

東北地方太平洋沖地震による津波被災マップの作成経緯と意義

Significance and Background of Mapping the Area Hit by the Tsunami
on March 11, 2011, Northeast Japan

松多 信尚・杉戸 信彦・後藤 秀昭・石黒 聡士・中田 高・渡辺 満久・宇根 寛・
田村 賢哉・熊原 康博・堀 和明・廣内 大助・海津 正倫・碓井 照子・鈴木 康弘

MATSUTA Nobuhisa, SUGITO Nobuhiko, GOTO Hideaki, ISHIGURO Satoshi, NAKATA Takashi,

WATANABE Mitsuhisa, UNE Hiroshi, TAMURA Kenya, KUMAHARA Yasuhiro, HORI Kazuaki,

HIROUCHI Daisuke, UMITSU Masatomo, USUI Teruko, and SUZUKI Yasuhiro

(2012年6月7日受付 2012年11月10日受理)

広域災害のマッピングは災害直後の日本地理学会の貢献のあり方のひとつとして重要である。日本地理学会災害対応本部は2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震直後に空中写真の詳細な実体視判読を行い、救援活動や復興計画の策定に資する津波被災マップを迅速に作成・公開した。このマップは実体視判読による津波の空間的挙動を考慮した精査、浸水範囲だけでなく激甚被災地域を特記、シームレスなweb公開を早期に実現した点に特徴があり、産学官民のさまざまな分野で利用された。

作成を通じ得られた教訓は、①津波被災確認においては、地面が乾く前の被災直後の空中写真撮影の重要性と②クロスチェック可能な写真判読体制のほか、データ管理者・GIS数値情報化担当者・web掲載作業員間の役割分担の体制構築、地図情報の法的利用等、保証できる精度の範囲を超えた誤った情報利用が行われないようにするための対応体制の重要性である。

The March 11, 2011, earthquake off the Pacific coast of northeastern Japan caused large tsunami. Tsunami-damaged areas were mapped on a scale of 1 : 25,000 based on the interpretation of stereopaired aerial photographs taken immediately after the earthquake by the Geospatial Information Authority of Japan. The area interpreted in this study was from Aomori to Chiba prefecture, except for the restricted area around the Fukushima nuclear power plant. Areas for which no aerial photographs were available were mapped using Google Earth and other sources. The purpose of mapping was to provide prompt basic information on the extent of tsunami invasion and distribution of devastated areas for all people taking countermeasures against the disaster. The lessons from our mapping area are that 1) aerial photographs should be taken as soon as possible after disasters and 2) a working team should be quickly arranged to map damaged areas and release the results.

キーワード：津波被災マップ，東北地方太平洋沖地震，家屋流失範囲，空中写真判読，実体視判読

Key words: tsunami damage mapping, 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake, heavily damaged residential area, aerial photograph interpretation, stereoscopic interpretation

I はじめに

2011年3月11日14時46分に三陸沖深さ24 kmで発生した東北地方太平洋沖地震は、震源域が南北約500 km東西に約200 kmにも達し、広域に大きな被害を及ぼした（たとえば、Ito et al. 2011）。地震後に北海道から千葉県のパシフィック沿岸を襲った最大遡上高35 m以上の大津波は、約2万人の死者行方不明者を出し、沿岸部に壊滅的な被害をもたらした。津波の映像はリアルタイムでテレビから報じられ、陸上交通が限られてい

る三陸沿岸などでは救援復旧活動が難航することが予想された。

そこで、日本地理学会災害対応本部は被災範囲をできるだけ迅速に把握し、救援活動や復興計画の策定に資するデータを提供すること、および津波遡上の全体像を明らかにして現地調査のベースマップを提供し、被害分布の地域性を明らかにして、被害の原因解明調査に資するデータを提供することを目的とし、津波被害を検討する作業チームを立ち上げた。そして空中写真判読にもとづく縮尺2万5千分の1の津波被害分布図

を作成し、3月28日にインターネットを通じて発表した。(日本地理学会災害対応本部津波被災マップ作成チーム2011)。

データの利用申請などから、われわれは当初の目的をある程度果たし、一定の成果を得たと考えている。今後、同様の津波災害を国内外で経験したときに、地理学の立場から被災地における被災程度の地域差に着目した情報を発することは十分に価値がある。そのためには今回の津波被災マップ作成の過程で経験したさまざまなことを記録し、次回に生かすことが大事だと考えている。

II 地震と津波の概要

3月11日14時46分に発生した地震は、太平洋プレートと東北日本が位置する北米プレート（またはユーラシアプレート）の境界部で発生した逆断層型のプレート境界型地震で、震源は宮城県沖、震源の深さは24 km、モーメントマグニチュードは9.0と推定されている(USGS 2011)。この規模は想定されていた宮城県沖の地震のマグニチュード7.5（地震調査研究推進本部2000）を遙かに上回るものであった。

地震後、岩手県から福島県沿岸では10 m以上の津波が押し寄せた。津波の最大波の到達時間（欠測時間）は、岩手県釜石で15時21分、宮城県気仙沼で14時59分から15時14分（沖合GPS波浪計からの推定時）、福島県相馬で15時50分、茨城県大洗で16時52分などである（気象庁2011）。

地震直後に気象庁は地震の規模を示すマグニチュードが7.9であったと発表し、この値をもとに地震の3分後に大津波警報が岩手県（推定津波高3 m）、宮城県（同6 m）、福島県（同3 m）の沿岸に、津波警報が北海道から千葉県までの太平洋沿岸と伊豆諸島に出された。津波規模の予想は気象庁マグニチュードを用いた地震の規模より推定されるが、特に巨大地震では気象庁マグニチュードは過小に評価される特性があるため（気象庁2008）、最初の発表より津波が大きくなる傾向がある。今回の地震でも、気象庁は地震の規模を7.9から、16時に8.4（気象庁マグニチュード）、17時にモーメントマグニチュード8.8に改めたが、津波警報の再評価は津波到達時間に間に合わなかった。気象

庁は地震の規模から津波の大きさを再評価することには失敗したが、釜石沖合のGPS波浪計で15時10分に潮位の急激な上昇を観測したことを受け、15時14分に予想される津波高を宮城県で10 m以上、岩手県・福島県で6 mに引き上げた。しかし、この情報はテレビ画面では報じられたが、ラジオでは十分に伝えられず、地震とともに停電した被災地には浸透しなかった。

地震発生から沿岸部への津波到達までに時間があったため、八戸、釜石、宮古、大船渡、気仙沼、仙台平野、亘理、相馬、広野、小名浜、大洗、銚子などの津波はヘリコプターや定点カメラからの映像として、NHKなどの放送局を通してリアルタイムで全国に放送され、その被害の大きさは容易に想像がつき、報道がない場所の被害状況も懸念された。

III 津波被災マップ作成経緯

津波被災マップを日本地理学会災害対応本部として作成した動機は以下の点が挙げられる。国土地理院が地震後の空中写真を公表したこと、津波の被災範囲の広域的な把握が一週間経っても依然困難であったこと、住民感情を考慮して現地調査が自粛されていたこと、一方で被害が広域に及ぶため現地調査にも限界があると考えられ写真判読にもとづくマップも有用と判断されたこと、公的機関による詳細な津波被災マップが一般に公表されるめどが立っていなかったこと、実体視判読によって単写真判読より高精度のマップ作成が期待できたことなどが挙げられる。

津波被災マップ作成の時系列的な経緯を表1にまとめた。

1. 完成版作成までの経緯

日本地理学会災害対応委員会は地震直後の14日「大規模災害時の学会としての対応」の提言にもとづいて、「日本地理学会災害対応本部」を正式に立ち上げた（平井2011）。震災後撮影された空中写真は3月13日に国土地理院ホームページで閲覧が可能になっており、3月18日に国土地理院より浸水範囲の面積の概略値が公表された（国土地理院2011a）。

地震発生から一週間が経過していたが、被災範囲が

表1 津波被災マップ作成の時系列的な経緯
Table 1 Time-line chart of the tsunami damage area map

日 時	事 象
3月11日	14時46分、東北日本太平洋沖地震発生
	15時20分頃 岩手県沿岸部に最大波到達
3月12, 13日	福島県北部から青森県南部の沿岸部の空中写真撮影
3月14日	東北日本太平洋沖地震・日本地理学会災害対応本部が立ち上がる
3月14日	国土地理院のHPで空中写真の公表開始
3月18日	国土地理院が浸水範囲の面積（概略値）公表
3月19日	浸水マップの判読開始を決定。名古屋大学を中心に空中写真、地形図などのデータ収集を開始
3月22日	国土地理院が10万分1浸水範囲概況図を公開
3月23日	地理情報付きのオルソ画像の公開を国土地理院に依頼
3月23日	公表方法を議論。GISデータ化して電子国土Web、eコミマップへの掲載を検討
3月24-26日	名古屋大にて判読会を開催
3月28日	1/25,000の地形図をスキャンした紙媒体を公開
3月28日	産経HPなど新聞報道
3月29日	GISデータの提供についての方針を検討開始
3月30日	IGUウェブサイトでの紹介依頼があり英語版の作成を開始
3月30日	一部地域の第二版を公表
3月31日	英語ページを公開
4月8日	国土地理院が千葉県・茨城県の10万分の1浸水範囲概況図、および衛星画像で判読した福島沿岸の10万分の1浸水範囲概況図を公表
4月8日	電子国土Webシステムおよびeコミマップでの公開を開始
4月9日	朝日新聞で報道
4月12日	オルソ画像に判読結果を記入する方法について検討
5月11日	福島県中南部を公開。空中写真が未撮影区間はGoogle Earthによる単写真で判読
5月26日	茨城県を公開
6月20日	青森県中南部を公開 一部図幅を公開
6月30日	国土地理院が2万5千分の1浸水範囲概況図を公開
9月9日	千葉県北部を公開 茨城県を一部更新
10月20-22日	名古屋大にて修正および増補箇所判読および確認作業を実施
12月11日	2011年完成版を公開

広域にわたるため、新聞等でもたらされる情報は主要な市町村を中心とした断片的なものに限られていた。われわれは被害状況の早期の把握や救援体制の計画立案のため、「網羅的」「面的」「高精度」な津波浸入範囲の調査が必要になっていると考えた。これは地形学を専門とする者の最も得意とするところであることから、空中写真判読にもとづく津波被災マップ作成の気運が高まった。

3月22日に国土地理院は10万分の1浸水範囲概況図（国土地理院2011b）を発表したが、この段階では、これ以上高精度な地図の公表の予定はなかった。

そこで、自然地理学を専門とする有志が空中写真判読による津波被災マップ作成を呼びかけ、約10人の研究者の協力を得て作業が始まった。総括は鈴木康弘名古屋大学教授が担当し、名古屋大学地理学教室の学生諸氏の協力を得て、被災地の空中写真や簡易オルソ化写真の収集、2万5千分の1地形図の購入を行った。

津波被災マップ作成に際しては、判読者間で、記載方法や判読基準などを統一することが必要となるため、判読者は3月24-26日に名古屋大学にて判読会を実施し、津波被災マップ作成を集中的に実施した。判読結果の公開は速報性を確保するため、上述の通り、2万5千分の1の地形図をスキャンした画像（図1）でいち早く公開した。しかし、判読結果とほかの情報とを合わせて解析するためには地理データの公表が不可欠と考え、データのGIS化を行い、電子国土Web、eコミマップへの掲載を検討し、4月8日に公開を開始した。その後、データの精度を高めるためにオルソ画像に判読結果を記入する方法を検討し、青森県から福島県北部における修正および判読に反映させた。一方、福島県中部以南の千葉県までの区間は空中写真の判読および空中写真未撮影区間はgoogle earthによる単写真判読を随時すすめデータを公開した。

2. 判読作業

1) 判読方法

3月24-26日に総勢11名によって名古屋大学の一室で判読作業が実施された。手元には3月12日、13日撮影分の空中写真があり、全体を統括するグループ、北部から判読するグループ、南部から判読するグループに分かれて判読を開始した。各地域の判読結果は複

数の別の判読者がクロスチェックをすることで判読の基準を統一する努力を行った。また、判読者間で随時判読解釈について議論した。

3月の時点では実体視判読が可能な空中写真の撮影範囲のみを判読範囲とし、津波被災マップには判読範囲を示した上で、その外側の浸水に関してはデータがないことを明記することにした。また、堤防に挟まれた河川敷を含む堤外地は判断が難しいので一様に判読しないこととした。その後、空中写真の公表範囲が拡張されたため、判読範囲も南部に延長された。その結果、原発事故の影響で空中写真が撮影されていない福島地区で浸水マップに隙間が生じたため、空中写真がない地域に限って、Google Earthを用いた衛星写真の単写真判読によって浸水範囲を認定した。最終的には津波被災マップの範囲は青森県から千葉県の沿岸までに広げられた。

2) 地図化方法

判読結果を地図化する作業は空中写真判読で活断層を認定する方法に倣い、印刷された空中写真に直接書き込む方法がとられた。ただし、印刷によって解像度が低下したことも予想されるため、同時にモニター上で実体視を可能とするフリーソフトのステレオフォトメーカー (<http://stereo.jp/jpn/stphmkr/index.html>) を使って拡大された画面上での実体視する方法(後藤・中田2011)も併用された。空中写真に書き込まれた浸水ラインは最終的に2万5千分1の地形図に転写された。

この判読手順をめぐって判読者の間で活発な議論が行われた。争点となったのは浸水範囲の判読結果を記入する基図に2万5千分1の地形図とオルソ化した空中写真のどちらを用いるかである。その理由は浸水範囲をオルソ化した空中写真に記入すれば、浸水範囲の精度を判読限界まで表示することが可能であると考えたためである。しかし、地震によって地盤が大きく東進しているため、オルソ化の精度が不確実であること、地域によって空中写真の縮尺が異なるため精度に地域差があること、より解像度の高い空中写真が国土地理院から提供される可能性があり二度手間になること、そしてなにより迅速に公表する必要があること、これらを理由に、当面は2万5千分1の地形図の精度で公開することに決まり、後日条件がそろい次第、よ

り詳細な判読を行うことで意見の一致を得た。

3) 家屋等の流出範囲

また、判読を始めると、空中写真で確認する限り、津波による被害の程度には建物の原型が残る場所と構造物が流出して基礎が残るだけの集落といった、地域差があることが明確になった。津波流入の強弱を示す指標として他分野の分析に利用可能であることや、復興に向けて重要な情報であると考えられたことから、浸水範囲だけでなく家屋等の流亡範囲を併記することが判読者から提案され、同時作業でその判読が行われることになった。ただし、この作業は津波後の空中写真のみでは判断し難い場所があることから、地震前後の空中写真の比較ページ(防災科学技術研究所eコミマップ2011)や衛星写真の比較ページ(Google Map)を利用して津波前後の集落を比較し、おおむね8割以上程度の家屋等が流出した地域を認定する作業を行った。

なお、津波浸水に関する判読基準とその妥当性に関しては杉戸ほか(2012)に詳しく報告したが、特筆すべき点として、浸水限界の指標として道路上の砂の量や住宅地のごみの散乱度などが有効であったことや、津波流動を考える上で実体視による地形判読が重要であったこと、浸水限界の認定が困難な場合に被災前後の写真を比較することが有用であったことを挙げておく。

3. 地理データ作成

3月24日までに判読した結果は2万5千分1の地形図で64枚であった。判読結果が書き込まれた地形図はすべてドラムスキャナーで読み取りJPEGファイルとし、この画像を奈良大学の学生諸氏がGISソフト上でポリゴンデータのshapeファイルにして地理データとした。その際、空中写真の範囲外の地域や、堤外地など原図では閉曲線になっていない部分は海岸線や堤防などで適当につなぐことですべての浸水域と家屋流失域をポリゴンデータとした。shapeファイルは名古屋大学環境学研究科が管理し、提供依頼などに対応した。

図1 判読結果をスキャンした2万5千分1の地形図 (大船渡図幅)

Figure 1 Original map of our airphoto interpretation

4. 公開作業

1) 公開情報の精査

判読結果の公開は速報性を確保するため、上述のとおり、2万5千分1の地形図をスキャンした画像 (図1) でいち早く公開した。しかし、判読結果とほかの情報とを合わせて解析するためには地理データの公表が不可欠と考えた。ただし、被災者の利害に直結する情報でもあるため、われわれの意に反した利用で学会や関係諸氏に不利益を及ぼす事態も予想された。特に、作成過程を理解しないユーザによる無秩序な使用や、データの精度を超えた誤った使用が懸念された。そこでわれわれは「shapeファイルやkmlファイルでの提供は原則としてしない」ことを決めた。その代用として他のデータとの重ね合わせはできるが、データの加工が不可能な国土地理院「電子国土Webシステム」(図2) および防災科学技術研究所「eコママップ」(図3) による公開に踏み切った。これらは地理データファイルそのものを提供しなくてもよい方式をとっている。ただし、災害対応および災害研究の目的に限り申請書 (図4) を提出のうえ、ファイルを提供することとした。「精度」については以下の点に留意する必要がある。都市域など一部の土地条件の場合に、写真のみでは津波遡上範囲が厳密に確定できない場合があることに加え、2万5千分1の地形図がそもそも持っている20 m内外の誤差を伴っている。また、

図2 電子国土で公表された津波被災マップ (気仙沼市大谷海岸付近)

Figure 2 Maps of the area hit by the tsunami on the Digital Japan Web System

図3 eコママップで公表された津波被災マップ (仙台平野北部)

Figure 3 Maps of the area hit by the tsunami on the map by e-community platform

地震時の地殻変動による誤差も生じている。

こうした点を考慮して、いずれの公開システムにおいても、縮尺2万5千分1よりも大縮尺にはできないような措置を施した。GISデータ提供にあたっては、こうした注意事項を詳細に伝え、データの精度を超え

本様式の送付先は tohoku.tsumamian.jp@gmail.com です。記入後、PDFファイルに変換してメール添付でお送りください。
受領後、内容に問題がない場合、電子データを電子メールにて提供いたします。なお、申請に対する承認書等は、原則発行しておりません。

平成 年 月 日

2011年3月11日東北地方太平洋沖地震に伴う津波被災マップ電子データの利用申請

ご所属
ご氏名

●目的（3行程度）

●具体的な利用方法（3行程度）

●データ共有の範囲（ご氏名・ご所属） 研究室/部署名等まで記して下さい

●注意点 本様式の提出をもって以下の点に同意されたものとみなします

- ・本データ（shp形式）は、kml形式等他の形式に変換したものも含め、二次的に流用しないようにしてください。成果物をインターネット等で公表する際にも、ダウンロード制限や拡大制限等、公開法に特にご注意願います。
- ・現地調査で確認したものではないため、とくに、平野部や市街地などでは、空中写真の判読のみでは、被災範囲の判断が困難な場合があります。また、堤外地については厳密な検討は行っておりません。今後の精査によって改訂されることがあります。
- ・縮尺2万5千分の1の地形図を基図として作業しているため、数値情報には地形図そのものの誤差や線の平滑化による誤差があります。具体的には、許容されている誤差（20m程度）や表記法による誤差等が含まれています。このため、本チームのサイトでは、大縮尺にすると表示が消える設定としています。
- ・海岸線と水陸線のデータは、国土地理院長の承認を得て、同院発行の基盤地図情報を複製したものです（承認番号 平22策復、第1013号）。
- ・本データを使用した成果を公表する際には以下のように記して下さい。
日本地理学会災害対応本部津波被災マップ作成チーム（2011）2011年3月11日東北地方太平洋沖地震に伴う津波被災マップ http://www.aijg.or.jp/disaster/201103_Tohoku-req.html

図4 GISファイルを提供するにあたって提出を求めた申請書

Figure 4 Application form to use the GIS file

た分析が行われないように配慮した。

メンバーの氏名を明記するか否かは意見が分かれた。ほとんどのメンバーからは承諾が得られたが、最終的には「日本地理学会災害対応本部津波被災マップ作成チーム」とし、説明書の中で所属のみを明記した。その後の学会発表等では学術研究成果という側面を重視し、氏名を明示している。

公表に際し作成された説明書(<http://danso.env.nagoya-u.ac.jp/20110311/>)には、今までの議論から、現地調査をしていない点、堤外地は検討していない点、今後加筆修正をする旨を注意点として明記した。

また1、写真判読した浸水域・家屋流失域の概要と2、地震前のDEMデータおよび浸水マップから作成した津波遡上高分布の概要をマスコミ向けの説明資料として作成した。

2) 津波遡上高の分布

津波の遡上高の分布は、10 m DEM（基盤地図情報）の標高データを用い、電子化した遡上範囲の限界線（輪郭）の両側5 mのバッファの中にある値を遡上高

として抽出した。使用しているDEMは地震前のものであるが、原図として転写した2万5千分の1の地形図も地震前であるために、ここでの誤差は生じていない。しかし、その際、急な斜面ではパルス状に遡上高が高くなることが確認されたため、単純移動平均による平滑化によって誤差の除去を試みた。その際、移動平均の区間を、10, 30, 50, 100地点と変えながらテストをし、パルス状の異常値が現れない区間の最小値として30地点（約300 m）を採用して移動平均を計算した。遡上高分布図の公開範囲は、公表当初は青森県八戸市から福島県南相馬市までであったが、12月11日公開の最終版では青森県六ヶ所村付近から千葉県一宮町付近にかけてである。

3) 公開申請の問題

国土地理院の地勢図や地形図、基盤地図情報を利用した成果のweb公開については、国や地方公共団体等の行政機関は国土地理院への申請手続きを免除されていたが、国土地理院は大学研究機関については民間会社同様に手続きが必要という判断をしていた。電子申請の場合は1, 2日で承認が下りることになっているが、津波被災マップの公表は迅速性を重視したため、承認後に承認番号を加筆する条件で承認前の公開が許可された。国土地理院の災害時の柔軟な対応に感謝したい。

なお、Google Earth等のWebで閲覧可能な衛星写真への申請の必要性も検討されたが、今回公開された中にGoogle Earthの画像が使用されておらず、利用は公開されている衛星写真の閲覧に限られているため申請の必要はないと判断した。

4) 公開のサーバーと公開手順

公開ホームページは名古屋大学のサーバを使用し、連絡先はGmailで専用アカウントを取得し、その電子メールと名古屋大学災害対策室のFAXのみとした。問い合わせへの対応は名古屋大学が受け持った。公開ホームページは当初は日本語版のみを公開した。その後、IGUのウェブサイトでの紹介依頼をきっかけとし、英語版（英語による簡潔な解説）を作成し、3月31日に公開した。

5. 確認作業調査

判読当初から空中写真で判断される遡上限界付近に

漂流した瓦礫や水田の藁と、実際の遡上限界との関係が不明確だと判読者の間で指摘されていた。判読基準の妥当性を判断するためには現地での確認が不可欠であったが、日本地球惑星科学連合や土木学会より地震後の現地調査自粛の勧告が出ていたので、現地に入ることはできるだけ、自粛した。われわれは勧告が解けた4月11日前後に、北部班と南部班に分かれて現地調査を行った。現地調査の様子は渡辺ほか(2011)や海津ほか(2011)などに記載されている。

現地調査の結果、遡上限界付近では津波の痕跡はかなり失われていたが、瓦礫などの浮遊物が集積している場所よりやや内陸側まで津波がきている場合があることを確認できた。津波が峠を越えた場合などは痕跡が残りにくく、誤って判読しているケースが現地調査で確認された。確認場所は改めて空中写真を再判読したが、実体視で見えるものを記述するという写真判読の原則に立ち返り、やや過小評価をしているが同一基準で判読することが重要だと考えた。

6. 修正作業

公開は速報性を重視したため、空中写真から地形図および地形図から電子データへの誤転写の確認作業をしていない。また、国土地理院から高解像度の空中写真を提供していただいたことにより、より詳細な判読が可能となった。また、3月末に実施した合同判読時には未公表であった三陸海岸沿岸部の一部、福島県以南の地域についても国土地理院より空中写真が随時公開され、高解像度の空中写真を提供いただいた。千葉県銚子以南に関しては(株)京葉測量から航空写真のカラーコピーを一枚1,200円で購入することを条件にデジタルデータの貸与を受けた。そのため、少なからず増補および修正作業が必要であった。

判読は二班に分かれて行い、福島県北部以北の地域では、1万分1のオルソ写真に浸水ラインの信頼度を明確なラインと不確実なラインに分けて書き込み、それを広島大学の学生の協力を受け電子化した。しかし、明確なラインと不確実なラインはこの津波被災マップには反映されていない。福島県北部以南の地域では名古屋大学を中心に判読者が2万5千分1の地形図に判読結果を書き込み、3名以上のクロスチェックを行い、玉野総合コンサルタント株式会社でデータの

電子化が行われた。

現地調査で間違いが明らかになった場所については、重点的な再判読を実施し、現地調査で得た知見をもとにマップを修正した。しかし、全域にわたり同様な精度で修正を施すのは難しいこと、国土地理院からも同様の作業工程を経た2万5千分1スケールの浸水範囲概略図が公表になったことから、国土地理院の見解と異なる部分のみを抽出し再確認を行い、最終的には一部の判読者が名古屋大学に集合して10月20-22日の3日間にわたって判読および確認作業を実施した。

IV 日本地理学会津波被災マップの特徴

同様の津波被災マップは、岩間(2011)、株式会社パスコ(2011)、国際航業グループ(2011)、国土地理院(2011c)、東京大学生産技術研究所(2011)、新潟大学理学部自然環境科学科災害GISグループ(2011)、原口・岩松(2011)等によって公表されているほか、東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ(2011)によって津波痕跡現地調査の結果が公開されている。また、局所的には茨城県(2011)や八戸市(2011)などの自治体が浸水マップを公表しているほか、損害保険協会(2011)は現地調査と写真判読にもとづき浸水域を町丁目の番地単位で発表している。

これらのマップには大きく分けて、現地調査から明らかにしたもの、単写真で判読したもの、実体視をもとに判読したものの3つのタイプがある。実体視をもとに判読したものは、われわれのマップのみである。それぞれの特徴として、現地調査から明らかにしたものは、現地での詳細な検討がなされている点、急な斜面での判断が容易な点が長所であり、短所としては調査に時間がかかるうえ被災直後の調査が難しく津波浸水の証拠の消滅が懸念される点、合同調査の場合、調査者間の個人差が生じる点、勾配のゆるい平野部では水路を逆流し越流したような場所をすべて抽出することが困難な点があげられる。図5は宮城県東松島町の空中写真である。図5aは実体視判読をもとにした浸水範囲が現地調査による浸水範囲より正確であった例である。上下に延びる谷中は津波の痕跡が不明瞭であるが、実体視判読により高度差を読み取ることで、左側の尾根を越えた津波が上部に向かって流下したこと

図5 実体視判読によって浸水範囲を高精度に認定できた実体視ペア画像（写真番号12022, 12023）矢印は津波の進入方向

Figure 5 Examples of the effectiveness of the stereoscopic interpretation. Arrows are the direction of tsunami flow

が推定でき、それを前提に注意深く判読することで浸水範囲を読み取った。

単写真で判読したものは、比較的短時間で判読が可能な点、空中写真や衛星写真が被災から短時間のうちに撮影された場合は浸水の根拠となる多数の津波痕跡が確認できる点、広範囲をほぼ同様な基準および精度で示すことができる点、現地調査ではアクセスが難しい岩石海岸の小さな谷も同様に判読ができる点などが優れている。一方で、現地での確認を伴っていないために、溯上範囲を過小評価している可能性があること、急な斜面における浸水を判読することが困難なこと、起伏が大きい地域などは詳細な地形が分からないので標高の高い場所を浸水域と見誤ることが短所として挙げられる。図5bは実体視判読をもとにした浸水範囲が単写真判読による浸水範囲より正確であった例である。学校の校庭に通じる道や校庭の一部は砂で汚れており、津波による砂の堆積があったようにみえるが、実体視判読により高度差を読み取ることで、周囲より標高が高く津波が到達していないことが推定でき、なんらかの人為的な理由によって砂質物が運ばれてきたと考えられる。

今回用いた実体視判読の場合、優れている点として単写真判読と同様な長所に加え、斜面などで証拠が乏しい場所でも、少ない津波痕跡の分布高度を内挿することである程度推定が可能なこと、土地条件や土地利用も踏まえ地形を目視しながら地形発達史を理解し、微地形も踏まえ津波の流動を考慮して判読することで入り組んだ地形の場所でも浸水域の判読が可能な点が長所になる。一方で単写真と同様に現地調査をしていないことや単写真より判読時間がかかることが短所として挙げられる。

以上のように、各々の津波被災マップには長所と短所があり、浸水マップの特性を考慮して利用される必要があると考えている。

一方、日本地理学会津波被災マップが他の浸水マップと大きく異なる点は、その他に、「家屋等が多く流された地域を「家屋流失地域」として図示したことが挙げられる。「家屋流失地域」は集落のおおむね8割程度の家屋が流出した範囲としているが、その流出の程度は正確な割合ではなく、目視での判断である。ただし、町並みが原形をとどめている地域と原形をとどめていない地域には津波の破壊力に大きな差があると思われること、救援復興活動においても対応に差が出ることが予想されることから、この範囲を全域にわたりマッピングした意義は大きい。

同様なマップとして新潟大学理学部自然環境科学科災害GISグループ(2011)が空中写真の判読と被災前の住宅地図の比較からGoogle Map上に建物一軒一軒の被災状況を示している。単写真での判読であると思われるため、実際と異なる点があるものの、家屋が多く流された地域に関しては日本地理学会の津波被災マップの家屋流失エリアとの相関は良い。

V 日本地理学会津波被災マップの社会や他分野での利用

2012年3月19日までに電子データの提供依頼は10件あり、前述の書類（図4）の提出をもってすべて承諾した。内訳は学会が1件、大学が7件、政府機関が2件である。また、WMS (Web Map Service)のURLを5機関に提供した。内訳は国内大学が1件、研究機関が1件、海外大学が1件、海外民間会社2件である。

そのほか、更新情報配布先が13件（大学7件、研究機関1件、政府機関3件、民間会社2件）である。

そのほかマップの使用依頼は多数あり、特筆すべき使用目的として、文化財の被害把握、共済契約者申請の罹災内容の照合、公共交通機関における津波対策調査、学校教育の副教材、ボランティア団体の防災の小冊子、危険物施設などの地震・津波対策のあり方に関わる検討会の資料、内閣府の東日本大震災検討資料、記者発表資料、などがある。また、未確認ながら、インフラなどの被害実態の推定と復興計画に使われたとする話もあるなど、われわれの予想を超えた利用があった。

利用者の申請理由を分析すると、日本地理学会の津波被災マップが利用される背景として、早期かつ迅速に公開を行ったこと、範囲や精度を変えながら更新作業を続けたこと、家屋流失地域が明記されていることが挙げられる。

VI 反省と今後に向けて

震災直後の空中写真を用いた実体視判読にもとづく津波被災マップの作成は、広域にわたる被害を比較的迅速にかなり精度よく把握する上で有用である。ただし、速報性を重視しつつ、膨大な作業を少人数で行うことは難しく、多くの人の協力が必要であった。

また、判読結果の電子データが公表されなかったことに批判的な意見もあった（西澤2011）。これらを踏まえ、将来に向けて次の3つを提言する。第一に被災後なるべく早い段階で実体視ができる空中写真または衛星写真をできるだけ高解像度で撮影すること、第二に事務局を設け、地形図、被災前後の空中写真、オルソ化した写真を準備し、判読結果やGISで利用可能な地理データなどを一括管理し、判読協力者を募るシステムを構築しておくこと、第三に緊急時におけるデータの公開方法や責任の所在などを事前に話し合っておくこと。今回は震災被害のなかった名古屋大学が基幹となったが、南海トラフなど西日本で大きな災害があった場合に備え、基幹となり得る場所を今から日本地理学会内で議論し、準備しておく必要を感じる。

謝 辞

津波被災マップ作成にあたり、国土地理院からは高解像度の空中写真を提供していただいたほか、株式会社京葉測量にも安価で空中写真を使わせていただいた。日本地理学会災害対応本部津波被災マップ作成チーム¹⁾のメンバーの方々には判読等でお世話になった。また、名古屋大学地理学教室の大学院生には多くの助力をいただいた。電子化作業には奈良大学および広島大学の学生にも協力いただいた。また、匿名の査読者には丁寧に査読していただき有益な指摘をいただいた。ここに記して謝意を表します。

注

- 1) 日本地理学会災害対応本部津波被災マップ作成チーム：鈴木康弘（名古屋大・代表）・石黒聡士（名古屋大）・碓井照子（奈良大）・内田主税（玉野総合コンサルタント株式会社）・宇根 寛（国土地理院）・海津正倫（奈良大）・熊原康博（群馬大）・後藤秀昭（広島大）・小岩直人（弘前大）・坂上寛之（株式会社ファルコン）・杉戸信彦（名古屋大）・田村賢哉（奈良大）・中田 高（広島大）・長谷川智則（玉野総合コンサルタント株式会社）・廣内大助（信州大）・堀 和明（名古屋大）・松多信尚（名古屋大）・宮城豊彦（東北学院大）・渡辺満久（東洋大）

文 献

- 茨城県 2011. 茨城県津波浸水実績図. <http://www.pref.ibaraki.jp/bukyoku/doboku/01class/class06/kaigan/tunamisinnnsui.html>（最終閲覧日2012年11月1日）。
- 岩間直人 2011. 東北地方太平洋沖地震による津波浸水マップ. http://www.withcom2.jp/earthquake/Corel/_c_html/disaster/ix-disaster_data-0001p.html（最終閲覧日2012年11月1日）。
- 海津正倫・杉戸信彦・松多信尚・堀 和明・石黒聡士 2011. 津波被災地における名古屋大グループの浸水高調査. 地理 56-12: 38-45.
- 株式会社パスコ 2011. 津波観測情報. 推定浸水範囲図（青森県～茨城県）. http://www.pasco.co.jp/disaster_info/110311/
- 気象庁 2011. 津波観測情報. http://www.jma.go.jp/jp/tsunami/observation_04_20110313180559.html（最終閲覧日2012年11月1日）。
- 気象庁 2008. 津波を予測するしくみ. <http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/know/tsunami/ryoteki.html>（最

- 最終閲覧日2012年11月1日)。
 国際航業グループ 2011. 地区別津波被害の状況
http://www.kk-grp.jp/csr/disaster/201103_touhoku-taiheiyo/other.html (最終閲覧日2012年11月1日)。
 国土地理院 2011a. 津波による浸水範囲の面積(概略値)について. <http://www.gsi.go.jp/kikaku/kikaku60001.html> (最終閲覧日2012年11月1日)。
 国土地理院 2011b. 浸水範囲概況図. <http://www.gsi.go.jp/kikaku/kikaku60002.html> (最終閲覧日2012年11月1日)。
 国土地理院 2011c. 2万5千分1 浸水範囲概況図. <http://www.gsi.go.jp/kikaku/kikaku40014.html> (最終閲覧日2012年11月1日)。
 後藤秀昭・中田 高 2011. フォーラム デジタル化ステレオペア画像を用いたディスプレイでの地形判読. 活断層研究34: 31-36。
 地震調査研究推進本部 2000. 宮城県沖地震の長期評価. <http://www.jishin.go.jp/main/chousa/00nov4/miyagi.html> (最終閲覧日2012年11月1日)。
 杉戸信彦・松多信尚・後藤秀昭・熊原康博・堀 和明・廣内大助・石黒聡士・中田 高・海津正倫・渡辺満久・鈴木康弘 2012. 空中写真の実体視判読に基づく2011年東北地方太平洋沖地震の津波浸水域認定の根拠. 自然災害科学31: 113-125。
 損害保険協会 2011. 認定された「全損地域」について. <http://www.sonpo.or.jp/news/2011quake/area.html> (最終閲覧日2012年11月1日)。
 東京大学生産技術研究所 2011. 航空写真より作成した広域オルソ画像と判読による津波到達(浸水域)ライン. http://stlab.iis.u-tokyo.ac.jp/eq_data/ (最終閲覧日2012年11月1日)。
 東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ 2011. <http://www.coastal.jp/tjt/index.php> (最終閲覧日2012年11月1日)。
 新潟大学理学部自然環境科学科災害GISグループ 2011. 2011年東北日本太平洋沖地震に伴う津波被害マップ. <https://sites.google.com/site/tsunamimap/hazard> (最終閲覧日2012年11月1日)。
 西澤 明 2011. 情報プラットフォームと復旧・復興支援情報. 都市計画291: 91-94。
 日本地理学会災害対応本部津波被災マップ作成チーム 2011. 2011年3月11日東北地方太平洋沖地震に伴う津波被災マップ. http://www.ajg.or.jp/disaster/201103_Tohoku-eq.html (最終閲覧日2012年11月1日)。
 八戸市 2011. 東北地方太平洋沖地震による津波の浸水区域. <http://www.city.hachinohe.aomori.jp/index.cfm/9,40490,28,222,html> (最終閲覧日2012年11月1日)。
 原口 強・岩松 暉 2011. 『東日本大震災津波詳細地図』古今書院。
 平井幸弘 2011. 日本地理学会の対応と取り組み. 地理56-6: 132-137。
 防災科学技術研究所eコミマップ 2011. 被災前後の空中写真比較. <http://map311.ecom-plat.jp/map/map/?cid=2&gid=0&mid=13> (最終閲覧日2012年11月1日)。
 渡辺満久・中田 高・小岩直人・熊原康博 2011. 津波被災マップと三陸海岸の津波遡上高. 地理56-6: 58-63。
 Ito, T., Ozawa, K., Watanabe, T., and Sagiya, T. 2011. Slip distribution of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake inferred from geodetic data. *Earth Planets Space* 63: 627-630。
 USGS 2011. Poster of the Great Tohoku Earthquake (north-east Honshu, Japan) of March 11, 2011-Magnitude 9.0. <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/poster/2011/20110311.php> (最終閲覧日2012年11月1日)。

〈著者略歴〉

松多 信尚 (まつた のぶひさ)

1971年東京都生まれ。東京大学大学院理学系研究科博士後期課程修了。現在、名古屋大学減災連携センター特任研究員。博士(理学)。中部地方や台湾のテクトニクスや変動地形学、災害地理学を専門とする。

杉戸 信彦 (すぎと のぶひこ)

1978年愛知県生まれ。京都大学大学院理学研究科博士後期課程修了。現在、名古屋大学大学院環境学研究科研究員。博士(理学)。変動地形と古地震、自然災害の研究に取り組んでいる。

後藤 秀昭 (ごとう ひであき)

1971年広島県生まれ。広島大学大学院文学研究科博士後期課程後期修了。現在、国立大学法人広島大学大学院文学研究科准教授。博士(文学)。専門は地理学、変動地形学、活断層研究。

石黒 聡士 (いしぐろ さとし)

1981年岐阜県生まれ。名古屋大学環境学研究科博士後期課程修了。現在、国立環境研究所環境計測研究センター特別研究員。博士(地理学)。専門はリモートセンシング・自然地理学。

中田 高（なかた たかし）

1942年広島県生まれ。広島大学名誉教授。理学博士。自然地理学。特に活断層など変動地形にもとづく地震の長期予測研究を専門とする。

渡辺 満久（わたなべ みつひさ）

新潟県生まれ。東洋大学社会学部教授。理学博士。専門は変動地形学。

宇根 寛（うね ひろし）

1958年東京都生まれ。国土地理院関東地方測量部長。専門は地形学、地図学。

田村 賢哉（たむら けんや）

1989年広島県生まれ。奈良大学大学院文学研究科地理学専攻（修士課程）。自然地理学、GISを中心に学んでいる。

熊原 康博（くまはら やすひろ）

1975年東京都生まれ。群馬大学教育学部准教授。博士（文学）。ヒマラヤや日本各地の活断層や変動地形を専門とする。

堀 和明（ほり かずあき）

1974年広島県生まれ。名古屋大学大学院環境学研究科地理学講座准教授。博士（理学）。自然地理学を専門とする。

廣内 大助（ひろうち だいすけ）

1970年東京都生まれ。信州大学教育学部准教授。博士（地理学）。専門は自然地理学、変動地形学

海津 正倫（うみつ まさとも）

1947年大阪府生まれ。奈良大学文学部教授・名古屋大学名誉教授。理学博士。専門は自然地理学。沖積低地の地形環境動態研究。2004年スマトラ島沖巨大地震津波に関してタイ、インドネシアでの陸上における津波の流動について論文を発表している。

碓井 照子（うすい てるこ）

大阪府生まれ。奈良大学文学部地理学科教授。元GIS学会会長。専門はGIS。地理空間情報活用推進基本法の制定に尽力し、地方自治、防災、都市計画、考古学など幅広い分野でのGISの利用に取り組んでいる。

鈴木 康弘（すずき やすひろ）

1961年愛知県生まれ。名古屋大学減災連携研究センター教授。博士（理学）。専門は変動地形学。活断層研究のほか、阪神・淡路大震災以降は低頻度巨大災害の問題にも取り組む。